



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS LAMINASI KAYU SURIAN DAN BAMBUPETUNG SEBAGAI ALTERNATIF KOMPONEN KAPAL KAYU

Govinda D.P Tambunan¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾, Sarjito Joko Sisworo¹⁾

Laboratorium Material

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
^{*)}e-mail : govindatambunan123@gmail.com

Abstrak

Penggunaan kayu secara terus-menerus yang mengakibatkan kelangkaan mendorong inovasi baru untuk mencari alternatif pengganti kayu, salah satunya menggunakan material komposit. Salah satunya berupa papan laminasi yang dewasa ini digunakan sebagai alternatif penggunaan kayu konvensional pada manufaktur kapal kayu. Tujuan Penelitian ini adalah menganalisis perubahan nilai teknis berupa nilai uji tarik dan uji tekuk serta nilai ekonomis balok laminasi dengan variasi persentase bahan 0% kayu 100% bambu, 10% kayu 90% bambu, 20% kayu 80% bambu, 30% kayu 70% bambu, 40% kayu 60% bambu. Jenis pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji tarik, uji tekuk, kadar air, dan massa jenis. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa balok laminasi kayu surian dan bambu petung memiliki rata-rata kadar air 8,18-9,15%, berat jenis 0,7-0,79 gr/cm³, memiliki rata-rata kuat tarik sebesar 158,96 - 215,42 MPa, meningkat sebesar 100,20% dari kuat tarik kayu surian, serta rata-rata kuat tekuk sebesar 206,13 - 244,53 MPa, meningkat sebesar 122,12% dari kuat tekuk kayu surian. Manufaktur lambung kapal yang menggunakan papan laminasi kayu surian bambu petung mengalami persentase penurunan biaya sebesar 63% dengan harga Rp 167.693.778 pada variasi 60% kayu 40% bambu dibandingkan dengan kayu Jati. Berdasarkan standar BKI maka laminasi kayu surian dan bambu petung tergolong ke dalam kayu kelas kuat I dan dapat digunakan sebagai alternatif material komponen kapal.

Kata Kunci : Laminasi, Kayu Surian, Bambu Petung, Uji Tarik, Uji Tekuk

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara maritim dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia, yang menjadikan industri perkapalan sebagai sektor vital dalam perekonomian nasional. Kapal kayu telah menjadi bagian integral dari budaya dan ekonomi maritim Indonesia selama berabad-abad. Kapal kayu banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia dalam kehidupan sehari-hari, seperti untuk kebutuhan transportasi, perdagangan, pariwisata, maupun untuk mengambil hasil laut.[1]

Penggunaan kayu secara terus-menerus dalam pembuatan kapal dewasa ini menghadapi berbagai tantangan. Jenis kayu yang memiliki kualitas yang baik seperti kayu jati di eksploitasi secara terus-menerus yang mengakibatkan kelangkaan dan harga yang semakin mahal.[2] Eksploitasi hutan untuk penebangan pohon juga terus-menerus

dilakukan untuk memenuhi permintaan pasar yang mengakibatkan kerusakan lingkungan dan penurunan keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, perlu dilakukan inovasi dalam bahan konstruksi kapal untuk mengatasi kelangkaan kayu tersebut.[3]

Komposit telah banyak digunakan dalam berbagai sektor industri, seperti industri otomotif, perkapalan, penerbangan dan industri lainnya.[4] Hal ini dikarenakan komposit memiliki sifat khusus yang dapat mengombinasikan berbagai sifat sinergis dari material penyusunnya. Laminasi adalah salah satu proses penggabungan lapisan-lapisan bahan untuk membentuk material komposit yang lebih kuat dan stabil.[5] Salah satu jenis material yang banyak digunakan sebagai campuran dalam komposit adalah bambu. Salah satu jenis material yang banyak digunakan sebagai campuran dalam komposit adalah bambu. Bambu memiliki

serat yang kuat, bobot yang ringan, laju pertumbuhan yang cepat, dan memiliki harga yang lebih murah. Bambu petung memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan bambu jenis lainnya. Bambu petung dikenal karena memiliki dimensi yang lebih besar dibandingkan dengan bambu lainnya, sehingga sangat ideal untuk digunakan untuk konstruksi kapal yang membutuhkan bahan dengan dimensi besar dan kuat.[6] Kayu surian adalah salah satu jenis kayu yang banyak tumbuh dan persebarannya merata di seluruh Indonesia. Kayu surian memiliki beberapa kelebihan, seperti kemampuan penyerapannya yang baik, memiliki bobot yang ringan namun tergolong kuat, dan memiliki resistensi alami terhadap serangan hama seperti rayap yang dapat membantu memperpanjang umur kapal.[7]

Studi sebelumnya mengenai “*Correlation between lamina directions and the mechanical characteristics of laminated bamboo composite for ship structure*” diperoleh bahwa spesimen dengan arah variasi sejajar serat memiliki kekuatan mekanis yang lebih baik. Penambahan serat kulit waru memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis papan laminasi.[8]

Penelitian “*Experimental study on bending properties of bamboo-wood composite beams with different tectonic patterns*” diperoleh hasil bahwa penambahan bambu laminasi pada kayu pinus menjadi sebuah balok laminasi dapat meningkatkan kekuatan mekanis dari kayu pinus itu sendiri. Hasil uji menunjukkan bahwa perekat poliuretane dan resin epoxy memastikan sifat ikatan antar laminasi baik. Peningkatan jumlah panel bambu berbanding lurus dengan peningkatan kapasitas beban maksimum dari balok komposit bambu dan kayu.[9]

Penelitian sebelumnya mengenai “*Effect Analysis of the Direction of Fiber Arrangement on Interfaces of Laminated Bamboo Fiber as a Construction Material for Wood Vessel Hulls*” didapatkan hasil Berdasarkan hasil penelitian, kekuatan tekan dan kekuatan geser lebih baik dengan pengaturan susunan serat saling tegak lurus atau searah memanjang serat, sedangkan kekuatan tarik lebih baik dengan pengaturan serat berbentuk anyaman.[10]

Penelitian sebelumnya mengenai “*Analisis Kekuatan Kapal Bambu Laminasi Dan Pengaruhnya Terhadap Ukuran Konstruksi Dan Biaya Produksi*” diperoleh hasil yaitu biaya produksi kapal berbahan bambu laminasi lebih ekonomis dibanding kapal kayu jati. Selisih biaya produksi terkecil Rp 178.191.571,00 pada kapal 20 GT dan terbesar Rp 383.428.715,00 pada kapal 60 GT.[11]

Penelitian sebelumnya mengenai “*Analisa Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Balok Laminasi Kayu Keruing Dan Bambu Petung Untuk Komponen Kapal Kayu*” diperoleh nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 145 MPa dan kekuatan tekan tertinggi senilai 33.27 MPa. Kekuatan balok laminasi berada pada kelas kuat III dan balok laminasi kayu keruing dan bambu petung dapat digunakan untuk konstruksi bangunan kapal diatas air.[12]

Permasalahan yang timbul adalah bagaimana sifat komposit laminasi kayu surian dan bambu petung dengan memvariasikan perbandingan volume antara kayu surian dan bambu petung, sehingga komposit laminasi tersebut bisa dijadikan sebagai komponen kapal kayu dan memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia. Berdasarkan penjelasan diatas, maka penulis akan melakukan penelitian mengenai “analisa teknis dan ekonomis laminasi kayu surian dan bambu petung sebagai alternatif komponen kapal kayu”. Hasil penelitian ini diharapkan mampu menciptakan inovasi material komposit terkhusus bagi industri perkapalan.

2. METODE DAN BAHAN

2.1 Komposit

Komposit merupakan bahan multifase, yaitu campuran bahan yang terdiri dari dua bahan atau lebih dan tidak terjadi reaksi kimia pada campuran tersebut. Sifat material komposit merupakan gabungan sinergis dari material penyusunnya. Material komposit harus dapat dibedakan secara kimiawi dan makroskopik dan dapat dipisahkan oleh material yang jelas. Material penyusun komposit dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*) atau pengisi (*filler*) dimana keduanya memiliki sifat yang berbeda. Matriks dan penguat harus saling menunjang atau memperbaiki sifat-sifat kedua material tersebut.[13]

Salah satu jenis komposit adalah komposit struktural. Komposit struktural terdiri dari material homogen dan material komposit, dimana sifatnya bukan hanya tergantung pada material penyusunnya, namun juga tergantung pada desain geometrinya. Komposit struktural dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu komposit laminar dan panel *sandwich*. Komposit laminar terdiri atas lapisan-lapisan yang memiliki kekuatan pada arah tertentu, misalnya kayu atau komposit polimer berpenguat serat searah dan kontinu. Lapisan-lapisan tersebut ditumpuk dengan urutan arah serat tertentu, dan di desain untuk memiliki kekuatan yang tinggi pada arah tertentu.[14]

Penelitian ini berfokus pada pembuatan sebuah komposit balok laminasi yang terdiri dari kayu surian dan bambu petung. Balok laminasi adalah produk kayu yang terdiri dari balok-balok kecil yang dilaminasi dengan bahan perekat sehingga memperoleh balok laminasi yang memiliki dimensi yang besar. Balok laminasi memiliki kelebihan yaitu ukuran yang lebih besar, kebebasan desain dan komposisi bahan, kualitas perekat, efisiensi penggunaan dan ramah lingkungan. Kayu surian berperan sebagai matriks yang akan ditingkatkan kekuatannya mekanisnya dengan mencampurnya pada sebuah balok laminasi dengan bambu petung yang berperan sebagai penguat dan direkatkan menggunakan resin *epoxy*. Bambu petung akan disusun sejajar dengan serat agar menghasilkan kekuatan mekanis yang optimal.



Gambar 1. Balok laminasi

2.2 Kayu Surian

Penelitian kali ini menggunakan kayu surian sebagai salah satu material dari laminasi. Kayu surian (*Toona Sureni*) merupakan salah satu jenis kayu dari family *meliaceae* yang persebarannya hampir di seluruh pulau Sumatera dan Jawa, Kalimantan Selatan dan timur, Sulawesi, Maluku, Bali, NTB, NTT dan Papua.

Tabel 1. Data sifat mekanis kayu surian[15]

Jenis Pengujian	Nilai (MPa)
Kuat lentur sejajar serat	105
Kuat Tarik sejajar serat	100
Kuat Tekan sejajar serat	68
Kelas Kuat	III-IV
Kelas Awet	III-V

Kayu surian dapat tumbuh dengan baik di ketinggian 350-2500 m di atas permukaan laut. Kayu Surian dapat tumbuh hingga 34 m, panjang batang bebas cabang 10-25 m, dengan diameter kayu dapat mencapai 85 cm.



Gambar 2. Pohon surian

2.3 Bambu Petung

Material penyusun lainnya dalam laminasi adalah bambu petung. Bambu petung (*Dendrocalamus Asper*) merupakan salah satu jenis bambu yang dapat tumbuh dan berkembang dengan baik di ketinggian 20 m di lahan terbuka yang beriklim tropis basah dan lembab.



Gambar 3. a). Buku bambu petung b). Rumpun bambu petung

Rumpun batang bambu mempunyai luas sekitar 3,5-5 m² dengan jumlah batang sekitar 28-41 batang. Panjang rata-rata bambu petung sekitar 14,5-16,5 m, dan panjang tiap ruas sekitar 14,5-18,5 cm dengan ketebalan batang 21-40 mm. bambu petung dikenal dengan batangnya yang kuat dan kokoh.[16]

Tabel 2. Data sifat mekanis bambu petung[17]

Jenis Pengujian	Nilai (MPa)
Kuat lentur sejajar serat	337
Kuat Tarik sejajar serat	228
Kuat Tekan sejajar serat	49
Kuat geser	9.5
Kuat tekan tegak lurus serat	24

2.4 Resin Epoxy

Selanjutnya material yang berperan sebagai perekat kayu dan bambu adalah resin *epoxy*. Resin *epoxy* merupakan salah satu jenis polimer yang

banyak digunakan dalam pembuatan komposit. Resin *epoxy* memiliki beberapa kelebihan seperti tahan terhadap suhu panas dan lembab, mampu meningkatkan kekuatan mekanis material, dan merupakan perekat yang baik untuk beberapa material penguat untuk pembuatan material komposit. Resin *epoxy* juga tahan terhadap cuaca ekstrim dan korosi.[18]



Gambar 4. Resin *epoxy*

2.5 Prosedur Pembuatan

Proses pembuatan spesimen dimulai dengan mempersiapkan bahan yang diperlukan, yaitu kayu surian, bambu petung, resin *epoxy*, dan *hardener*. Kemudian bambu dipotong menjadi bentuk kotak (4 *side planing*). Lalu dilakukan perendaman bambu kedalam 2.5% *natrium tetraborate* untuk pengawetan. Kemudian kayu surian dan bambu petung dikeringkan hingga kadar air mencapai 15%. kemudian dilakukan proses laminasi bilah bambu yang telah dibentuk kotak tadi dan direkatkan dengan resin *epoxy* hingga menjadi balok laminasi bambu. Kemudian potong kayu dan balok laminasi bambu sesuai dengan ukuran yang telah direncanakan. Lalu dilakukan proses *sorting* atau penyusunan material sesuai dengan variasi yang sudah direncanakan dimana kayu berada pada bagian luar dan bambu berada di bagian dalam. Kemudian dilakukan lagi proses laminasi antara kayu dan bambu menggunakan resin *epoxy* dan dilakukan pengempaan dingin agar bambu dan kayu merekat dengan baik. Kemudian keringkan balok laminasi kayu dan bambu sesuai dengan kadar air yang sudah direncanakan.



Gambar 5. Proses laminasi kayu dan bambu

2.6 Lokasi Pengujian

Pembuatan spesimen laminasi dilakukan di PT. Ibamboo Hijau Nusantara, Bondowoso Jawa Timur. Pengujian spesimen dilakukan di laboratorium struktur dan konstruksi Departemen S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.

2.7 Parameter Pengujian

2.7.1 Parameter Tetap

a. Uji Tarik

Standar pengujian tarik tegak lurus yang digunakan dalam penelitian ini adalah SNI 0-339-1994 dengan ukuran spesimen 460 mm x 25 mm x 25 mm. uji tarik dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus young material.[19] Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).



Gambar 6. Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat berikut, yaitu:

1. Tegangan Tarik Maksimum (σ)

Merupakan tegangan maksimum yang bisa ditanggung material sebelum terjadinya patah (*fracture*). Adapun rumus untuk menghitung tegangan tarik adalah:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Dimana:

σ = tegangan tarik maksimum (MPa)

P = beban maksimum (N)

A_0 = Luas Penampang mula-mula (mm^2)

2. Regangan Maksimum (ϵ)

Regangan maksimum dapat menunjukkan pertambahan panjang dari suatu material sesudah terjadi patahan terhadap panjang awalnya. Adapun rumus untuk menghitung regangan maksimum adalah:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

- ε = Regangan maksimum (%)
- ΔL = Pertambahan panjang (mm)
- L_0 = Panjang mula-mula (mm)

3. Modulus Elastisitas (E)

Modulus young adalah ukuran kekakuan suatu material dalam grafik tegangan regangan. Adapun rumus untuk menghitung modulus elastisitas adalah:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$



Gambar 7. Ukuran spesimen uji tarik

b. Uji Tekuk

Pengujian tekuk dilakukan untuk menentukan nilai kekuatan dan kekenyalan akibat pembebanan suatu material. Pengujian tekuk dilakukan dengan mesin *universal testing machine* (UTM). Spesimen diletakkan dibagian tumpuan yang berada pada mesin uji, kemudian diberikan pembebanan pada bagian tengah spesimen tersebut.



Gambar 8. Pengujian tekuk

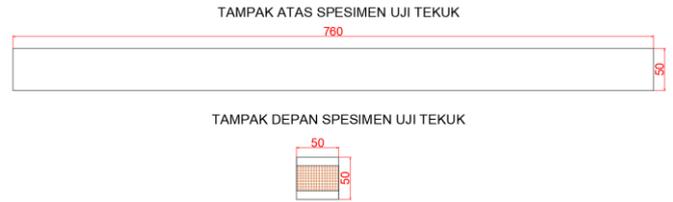
Adapun rumus untuk menghitung nilai kekuatan tekuk adalah:

$$MOR = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (4)$$

Dimana:

- MOR = Modulus of rupture (MPa)
- F = Beban Maksimum (N)
- L = Jarak tumpuan (mm)
- b = lebar spesimen (mm)
- d = tinggi spesimen (mm)

Standar pengujian tekuk yang digunakan pada penelitian ini adalah SNI 03-3959-1995 dengan ukuran spesimen 760 mm x 50 mm x 50 mm.[20] Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat universal testing Machine (UTM).



Gambar 9. Bentuk spesimen uji tekuk

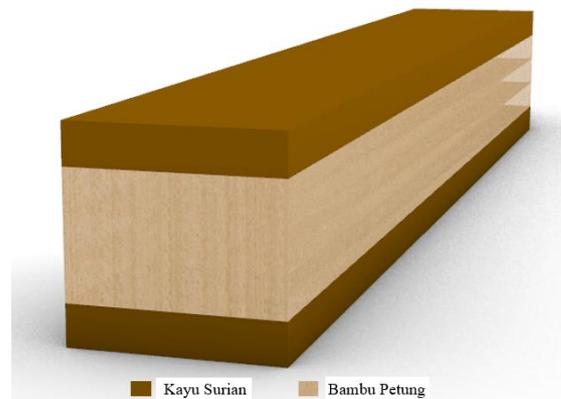
2.7.2 Parameter Perubah

Parameter perubah dalam penelitian ini adalah perbandingan presentase volume antara kayu surian dan bambu petung.

- 0% kayu surian 100% bambu petung dengan kode spesimen K0B100.
- 10% kayu surian 90% bambu petung dengan kode spesimen K10B90.
- 30% kayu surian 80% bambu petung dengan kode spesimen K20B80.
- 30% kayu surian 70% bambu petung dengan kode spesimen K30B70.
- 40% kayu surian 60% bambu petung dengan kode spesimen K40B60.

Tabel 3. Varisi fraksi volume

Variasi	Tebal Lapisan (kayu-bambu-kayu)	
	Uji Tarik (mm)	Uji Tekuk (mm)
K0B100	0 – 25 – 0	0 – 50 – 0
K10B90	1,25 – 22,5 – 1,25	2,5 – 45 – 2,5
K20B80	2,5 – 20 – 2,5	5 – 40 – 5
K30B70	3,75 – 17,5 – 3,75	7,5 – 35 – 7,5
K40B60	5 – 15 – 5	10 – 30 – 10

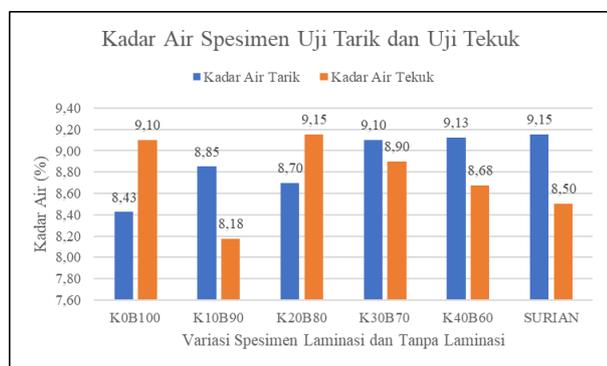


Gambar 10. Model Spesimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kadar Air

Kadar air dari suatu material kayu sebelum dilakukan pengujian diatur dalam standar SNI 0-339-1994 untuk pengujian tarik dan SNI 03-3959-1995 untuk pengujian tekuk. Didalam standar tersebut diatur bahwa kadar air maksimum sebesar 20 %. Sedangkan dalam peraturan Biro Klasifikasi Indonesia yang diatur dalam Peraturan Kapal Kayu (Bag.3, Vol.VI) edisi 2023, ditentukan bahwa kelembapan maksimal kayu sebesar 15%. Alat yang digunakan untuk mengukur kadar air spesimen pada penelitian ini adalah *moisture meter*. Dari Penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan data kadar air dari spesimen sebagai berikut:

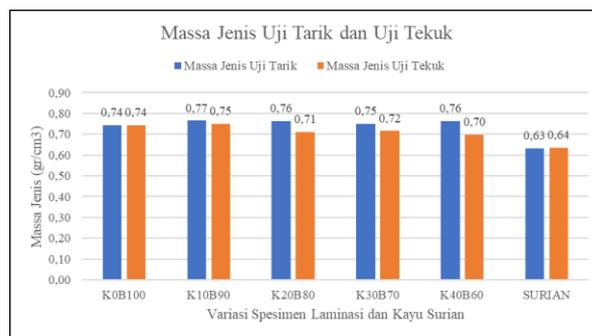


Gambar 11. Grafik kadar air

Dari hasil pengujian kadar air yang terdapat pada grafik diatas, spesimen uji tarik dan uji tekuk memiliki rata-rata kadar air sebesar 8,18% – 9,15%. Oleh karena itu Spesimen uji tarik dan uji tekuk telah memenuhi standar SNI 0-339-1994 dan SNI 03-3959-1995 serta BKI Peraturan Kapal Kayu (Bag.3, Vol.VI) edisi 2023, dimana kadar air material harus berada dibawah 15%.

3.2 Massa Jenis

Pengujian massa jenis suatu material dilakukan untuk memastikan bahwa setiap spesimen memiliki massa jenis yang tidak terlalu berbeda satu sama lain. Hal ini dikarenakan massa jenis berpengaruh terhadap kekuatan mekanis material. Semakin tinggi berat jenis suatu material biasanya memiliki kemampuan mekanis yang lebih baik. Berat jenis dihitung dengan membagikan berat spesimen dengan volume spesimen. Dari pengujian yang suda dilakukan, didapatkan berat jenis spesimen sebagai berikut:



Gambar 12. Grafik massa jenis

Dari hasil pengujian massa jenis spesimen uji tarik dan uji tekuk yang terdapat pada grafik diatas, spesimen uji tarik dan uji tekuk memiliki rata-rata massa jenis sebesar 0,70 gr/cm² – 0,77 gr/cm². Oleh karena itu, berdasarkan peraturan BKI Peraturan Kapal Kayu (Bag.3, Vol.VI) edisi 2023, massa jenis spesimen uji tarik dapat digolongkan kedalam kayu kelas kuat II.

3.3 Pengujian Tarik

Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standar SNI 0-339-1994 dengan ukuran spesimen 460 mm x 25 mm x 25 mm. Spesimen uji tarik dinamakan sesuai dengan variasi yang ada dan terdapat 5 variasi dengan 4 kali pengulangan.

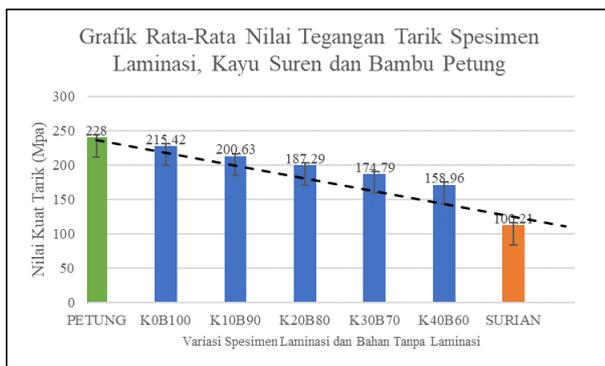
3.3.1 Tegangan Tarik

Tegangan tarik merujuk pada tegangan yang dapat diterima material sebelum patah. Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan menggunakan mesin Universal testing Machine dengan membagikan tekanan yang diterima dengan luas permukaan spesimen uji.

Tabel 4. Hasil pengujian tegangan tarik

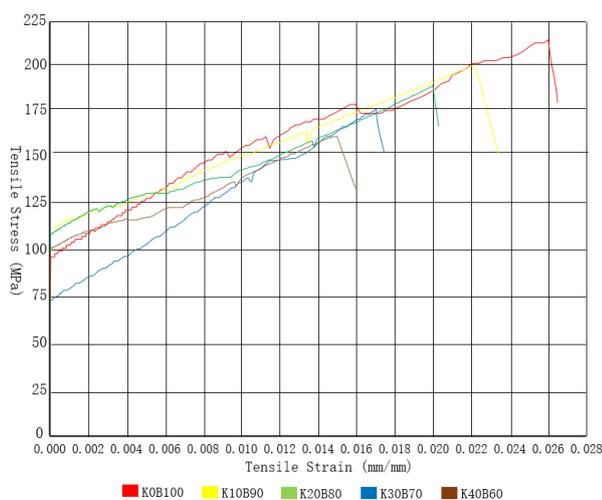
Variasi	No	Lebar (mm)	Tebal (mm)	P Max (kN)	σ Max (MPa)	\bar{x} (MPa)
K0B100	1	25	25	25,4	211,67	215,42
	2	25	25	25,8	215,00	
	3	25	25	26	216,67	
	4	25	25	26,2	218,33	
K10B90	1	25	25	23,6	196,67	200,63
	2	25	25	23,9	199,17	
	3	25	25	24,3	202,50	
	4	25	25	24,5	204,17	
K20B80	1	25	25	21,8	181,67	187,29
	2	25	25	22,4	186,67	
	3	25	25	22,6	188,33	
	4	25	25	23,1	192,50	
K30B70	1	25	25	20,5	170,83	174,79
	2	25	25	20,8	173,33	
	3	25	25	21,1	175,83	
	4	25	25	21,5	179,17	
K40B60	1	25	25	18,6	155,00	158,96
	2	25	25	18,9	157,50	
	3	25	25	19,1	159,17	
	4	25	25	19,7	164,17	
SURIAN	1	25	25	11,5	95,83	100,21
	2	25	25	11,9	99,17	
	3	25	25	12,2	101,67	
	4	25	25	12,5	104,17	

Dari hasil pengujian tarik yang terdapat pada tabel 4, spesimen dengan variasi bambu 100% kayu 0% (K0B100) memiliki tegangan tarik rata-rata terbesar yaitu 203,43 MPa yang mana meningkat sebesar 53,48% dari RAW kayu surian. Sementara spesimen dengan variasi bambu 60% dan kayu 40% memiliki tegangan tarik terendah yaitu sebesar 158,96 MPa yang mana meningkat sebesar 36,95% dibandingkan dengan RAW kayu surian.



Gambar 13. Grafik tegangan tarik

Dari hasil pengujian tegangan tarik diatas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi persentase volume kayu dalam spesimen, maka semakin rendah tegangan tariknya dan berlaku juga sebaliknya. Hal ini dikarenakan kayu surian memiliki tegangan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi yang lain, sehingga ketika persentase volumenya bertambah banyak dalam suatu spesimen, maka spesimen tersebut akan mengalami penurunan tegangan tarik. Dengan penambahan kayu sebesar 10 % setiap variasi, terjadi penurunan tegangan tarik sebesar 6-9%.



Gambar 14. Grafik uji tarik variasi

Dari grafik diatas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin banyak persentase volume bambu dalam spesimen, maka semakin tinggi tegangan tarik dan regangan tariknya dan berlaku juga

sebaliknya. Hal ini dikarenakan bambu petung memiliki kekuatan mekanis yang lebih tinggi serta memiliki sifat yang elastis dikarenakan tersusun atas serat, sementara kayu surian memiliki kekuatan mekanis yang lebih rendah serta sifat materialnya lebih getas.

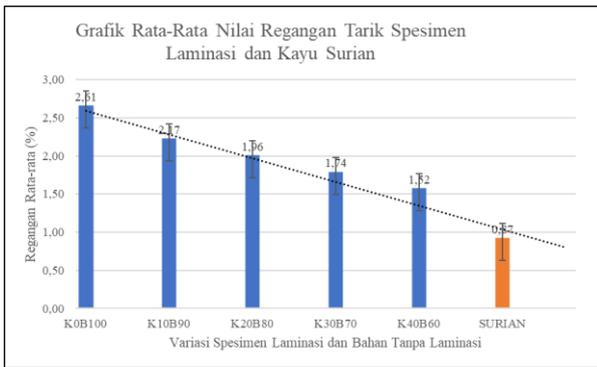
3.3.2 Regangan Tarik

Adapun hasil pengujian regangan tarik spesimen adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil regangan tarik

Variasi	No	ΔL (mm)	ϵ	ϵ (%)	$\bar{\epsilon}$ (%)
K0B100	1	11	0,024	2,39	2,61
	2	12	0,026	2,61	
	3	12	0,026	2,61	
	4	13	0,028	2,83	
K10B90	1	9	0,020	1,96	2,17
	2	10	0,022	2,17	
	3	10	0,022	2,17	
	4	11	0,024	2,39	
K20B80	1	8	0,017	1,74	1,96
	2	9	0,020	1,96	
	3	9	0,020	1,96	
	4	10	0,022	2,17	
K30B70	1	7	0,015	1,52	1,74
	2	8	0,017	1,74	
	3	8	0,017	1,74	
	4	9	0,020	1,96	
K40B60	1	6	0,013	1,30	1,52
	2	7	0,015	1,52	
	3	7	0,015	1,52	
	4	8	0,017	1,74	
SURIAN	1	3	0,007	0,65	0,87
	2	4	0,009	0,87	
	3	4	0,009	0,87	
	4	5	0,011	1,09	

Dari hasil pengujian regangan tarik yang terdapat pada table diatas, spesimen dengan variasi K0B100 memiliki regangan tarik rata-rata sebesar 2,61%. Sementara untuk spesimen K10B90 memiliki regangan tarik rata-rata sebesar 2,17%, lebih rendah 16,67% dari spesimen K0B100. Untuk spesimen K20B80 memiliki regangan tarik rata-rata 1,96%, atau lebih rendah 10% dari spesimen K10B90. Sementara spesimen K30B70 memiliki regangan tarik rata-rata 1,74%, lebih rendah 11,11% dari variasi K20B80. Untuk spesimen K40B100 memiliki regangan tarik rata-rata sebesar 1,52%, lebih rendah 12,5% dari spesimen K30B70. Sementara untuk regangan tarik rata-rata kayu surian memiliki nilai sebesar 0,87%.



Gambar 15. Grafik regangan tarik

Dari hasil pengujian regangan tarik diatas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi persentase volume kayu dalam spesimen, maka semakin rendah nilai regangan tariknya dan berlaku juga sebaliknya. Hal ini dikarenakan kayu surian memiliki regangan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi yang lain, sehingga ketika persentase volumenya bertambah banyak dalam suatu spesimen, maka spesimen tersebut akan mengalami penurunan regangan tarik. Dengan penambahan kayu sebesar 10 % setiap variasi, terjadi penurunan regangan tarik sebesar 10-16%.

3.3.3 Modulus Elastisitas

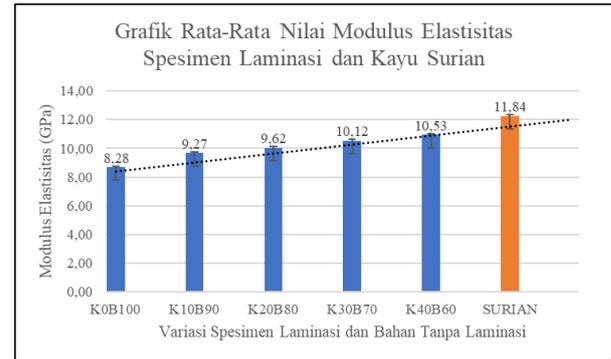
Adapun hasil perhitungan modulus elastisitas adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Modulus elastisitas

Variasi	No	Tegangan (MPa)	Regangan (ε)	E (MPa)	\bar{x} E (GPa)
KOB100	1	211,67	0,024	8851,52	8,28
	2	215,00	0,026	8241,67	
	3	216,67	0,026	8305,56	
	4	218,33	0,028	7725,64	
K10B90	1	196,67	0,020	10051,85	9,27
	2	199,17	0,022	9161,67	
	3	202,50	0,022	9315,00	
	4	204,17	0,024	8537,88	
K20B80	1	181,67	0,017	10445,83	9,62
	2	186,67	0,020	9540,74	
	3	188,33	0,020	9625,93	
	4	192,50	0,022	8855,00	
K30B70	1	170,83	0,015	11226,19	10,12
	2	173,33	0,017	9966,67	
	3	175,83	0,017	10110,42	
	4	179,17	0,020	9157,41	
K40B60	1	155,00	0,013	11883,33	10,53
	2	157,50	0,015	10350,00	
	3	159,17	0,015	10459,52	
	4	164,17	0,017	9439,58	
SURIAN	1	95,83	0,007	14694,44	11,84
	2	99,17	0,009	11404,17	
	3	101,67	0,009	11691,67	
	4	104,17	0,011	9583,33	

Dari hasil perhitungan modulus elastisitas diatas, spesimen dengan variasi KOB100 memiliki modulus elastisitas rata-rata sebesar 8,28 GPa. Sementara untuk spesimen K10B90 memiliki

modulus elastisitas rata-rata 9,27 GPa, atau naik sebesar 11,9% dari spesimen KOB100. Untuk spesimen K20B80 memiliki modulus elastisitas rata-rata 9,62 GPa, atau naik 3,77% dari spesimen K10B90. Sementara spesimen K30B70 memiliki modulus elastisitas rata-rata sebesar 10,12 GPa, dimana lebih tinggi 5,18% dari variasi K20B80. Untuk spesimen K40B60 memiliki modulus elastisitas rata-rata sebesar 10,53 GPa, atau lebih tinggi 4,13% dari spesimen K30B70. Sementara untuk modulus elastisitas rata-rata kayu surian memiliki nilai sebesar 11,84 GPa.



Gambar 16. Grafik Modulus elastisitas

Dari hasil perhitungan modulus elastisitas diatas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi persentase volume kayu dalam spesimen, maka semakin tinggi pula nilai modulus elastisitasnya. Dan sebaliknya, semakin tinggi persentase volume bambu maka semakin rendah modulus elastisitasnya. Hal ini dikarenakan bambu petung memiliki sifat material yang lebih elastis dikarenakan tersusun oleh serat, sehingga ketika persentase volumenya bertambah banyak dalam suatu spesimen, maka spesimen tersebut akan mengalami penurunan nilai modulus elastisitas. Dengan penambahan kayu sebesar 10 % setiap variasi, terjadi peningkatan nilai modulus elastisitas sebesar 4 - 11%.

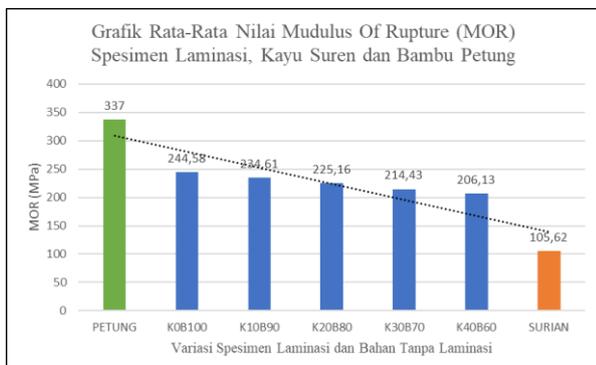
3.4 Pengujian Tekuk

Spesimen uji tekuk dibuat berdasarkan standar SNI 03-3959-1995 dengan ukuran spesimen 760 mm x 50 mm x 50 mm. Spesimen uji tekuk dinamakan sesuai dengan variasi yang ada dan terdapat 5 variasi dengan 4 kali pengulangan. Pengujian ini dilakukan dengan pengujian bending 3 titik (Three Point bending).

Tabel 7. Hasil Pengujian kuat tekuk

Variasi	No	P Max (kN)	MOR (MPa)	Rata-rata (MPa)
K0B100	1	53,12	242,23	244,58
	2	53,52	244,05	
	3	53,82	245,42	
	4	54,08	246,60	
K10B90	1	50,75	231,42	234,61
	2	51,19	233,43	
	3	51,73	235,89	
	4	52,13	237,71	
K20B80	1	48,76	222,35	225,16
	2	49,15	224,12	
	3	49,67	226,50	
	4	49,93	227,68	
K30B70	1	46,37	211,45	214,43
	2	46,89	213,82	
	3	47,21	215,28	
	4	47,63	217,19	
K40B60	1	44,86	204,56	206,13
	2	44,43	202,60	
	3	45,68	208,30	
	4	45,85	209,08	
SURIAN	1	22,65	103,28	105,62
	2	22,94	104,61	
	3	23,32	106,34	
	4	23,74	108,25	

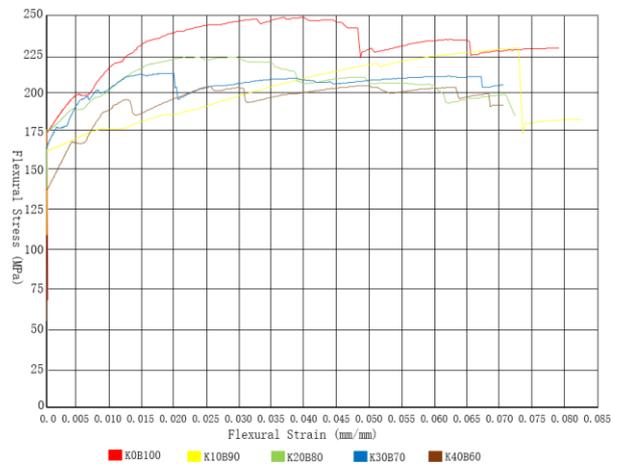
Dari hasil pengujian kuat tekuk yang terdapat pada tabel diatas, spesimen dengan variasi K0B100 memiliki kuat tekuk rata-rata tertinggi sebesar 244,58 MPa. Sementara untuk spesimen K10B90 memiliki kuat tekuk rata-rata 234,61 MPa, lebih rendah 4,07% dari spesimen K0B100. Untuk spesimen K20B80 memiliki kuat tekuk rata-rata 225,16 MPa, lebih rendah 4,02% dari spesimen K10B90. Sementara spesimen K30B70 memiliki kuat tekuk rata-rata 214,43 MPa, lebih rendah 4,76% dari variasi K20B80. Untuk spesimen K40B100 memiliki kuat tekuk rata-rata sebesar 206,13 MPa, lebih rendah 3,87% dari spesimen K30B70. Sementara untuk kuat tekuk rata-rata terendah berada pada kayu surian yang memiliki nilai sebesar 105,62 MPa.



Gambar 17. Nilai kuat tekuk atau modulus of rupture (MOR)

Dari hasil pengujian kuat tekuk diatas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi persentase volume kayu dalam spesimen, maka semakin rendah kekuatan tekuknya. Dan

sebaliknya, semakin tinggi persentase volume bambu maka semakin tinggi juga kekuatan tekuknya. Hal ini dikarenakan kayu surian memiliki kekuatan tekuk yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi yang lain, sehingga ketika persentase volumenya bertambah banyak dalam suatu spesimen, maka spesimen tersebut akan mengalami penurunan kekuatan tekuk. Dengan penambahan kayu sebesar 10 % setiap variasi, terjadi penurunan kekuatan tekuk sebesar 3,87-4,76%. Kesimpulan lain yang dapat ditarik adalah dengan mencampur kayu surian dan bambu petung dalam sebuah balok laminasi, dapat meningkatkan kekuatan tekuk hingga sebesar 122,12% dibandingkan spesimen K10B90.



Gambar 18. Kurva Stress-strain uji tekuk

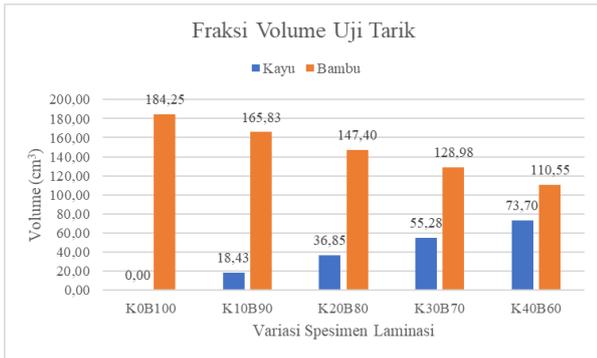
Pada pengujian tekuk terdapat keterbatasan dimana ketika spesimen telah mencapai nilai *yield strength*, maka spesimen akan terus melentur dan tidak mencapai nilai *rupture*. Hal ini dikarenakan spesimen yang terbuat dari bambu yang memiliki sifat elastis sehingga akan merenggang ketika dilakukan pengujian tekuk.

3.5 Fraksi Volume

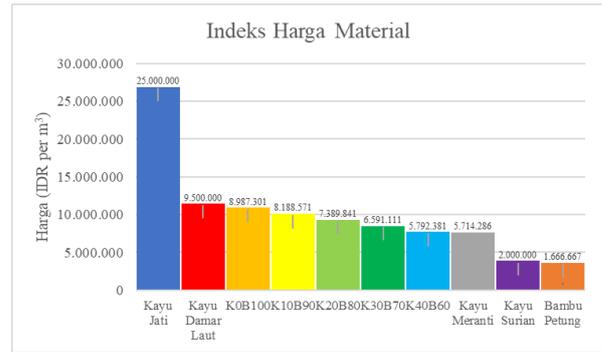
Perbedaan yang jelas antara variasi fraksi volume material komposit yang satu dengan yang lain dapat menyimpulkan variasi terbaik mana yang dapat digunakan serta peran suatu material penyusun dalam komposit. Berikut merupakan perhitungan volume tiap material pada spesimen.

Tabel 8. Fraksi volume

Fraksi Volume Uji Tarik (cm ³)		Fraksi Volume Uji Tekuk (cm ³)			
Variasi	Kayu	Bambu	Variasi	Kayu	Bambu
K0B100	0,00	184,25	K0B100	0	1900
K10B90	18,43	165,83	K10B90	190	1710
K20B80	36,85	147,40	K20B80	380	1520
K30B70	55,28	128,98	K30B70	570	1330
K40B60	73,70	110,55	K40B60	760	1140



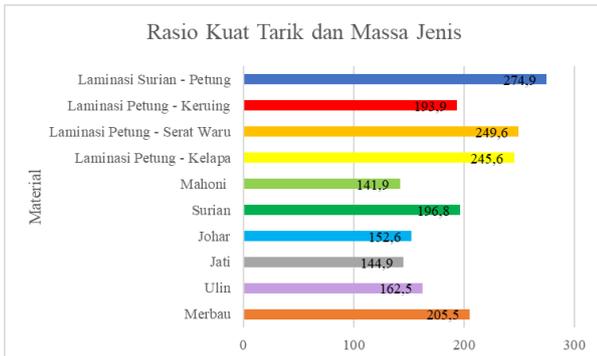
Gambar 19. Grafik fraksi volume uji tarik



Gambar 21. Indeks harga material

3.6 Perbandingan Laminasi Dengan Material Lain

Perbandingan dilakukan dengan membandingkan nilai rasio kuat tarik dan berat jenis laminasi dengan beberapa material dari penelitian sebelumnya. Nilai rasio kuat tarik dan berat jenis menggambarkan perbandingan antara kuat tarik dengan berat material, semakin tinggi nilai rasionya, berarti material tersebut memiliki kekuatan mekanis yang baik dan memiliki berat yang ringan.



Gambar 20. Rasio kuat tarik dan massa jenis

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa laminasi kayu surian dan bambu petung memiliki rasio yang lebih besar diantara beberapa laminasi dari beberapa penelitian sebelumnya dan beberapa jenis kayu yang sering dijadikan material kapal. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa laminasi kayu surian dan bambu petung memiliki kekuatan mekanis yang tinggi dan memiliki berat yang ringan, serta dapat dijadikan sebagai material manufaktur kapal.

3.7 Perbandingan Ekonomis Balok Laminasi

Analisis ekonomis didapatkan dengan membandingkan harga balok laminasi dengan harga beberapa kayu yang sering dijadikan sebagai material kapal. harga material dalam pembangunan kapal merupakan aspek yang sangat penting untuk diperhatikan karena akan menentukan modal yang dibutuhkan untuk pembangunan kapal.

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa variasi kayu 40% bambu 60% menjadi material dengan nilai paling ekonomis dibandingkan dengan variasi yang lainnya. Harga tersebut jauh lebih murah jika dibandingkan dengan kayu jati yang memiliki harga sangat tinggi. Hal ini membuktikan bahwa laminasi kayu surian dan bambu petung lebih efisien jika ditinjau dari segi teknis dan ekonomisnya dan layak dijadikan pengganti kayu yang semakin mahal.

Sebagai faktor pertimbangan ekonomis, kebutuhan ekonomis manufaktur kapal kayu konvensional yang menggunakan kayu jati dan beberapa material lainnya akan dibandingkan dengan kebutuhan ekonomis manufaktur kapal kayu yang menggunakan laminasi kayu surian dan bambu petung. Proses analisis ekonomis meliputi perhitungan biaya material, biaya produksi, biaya overhead dan biaya operasional. Objek yang dihitung merupakan lambung kapal tanpa bagian-bagian lainnya seperti *electrical*, permesinan, hingga interior kapal untuk memudahkan menganalisis perbedaan biaya antar material. Kapal yang digunakan sebagai pembanding adalah kapal ikan 20 GT dengan ukuran sebagai berikut :

Panjang kapal (LOA)	: 18 meter
Panjang garis air (LWL)	: 14,5 meter
Panjang Geladak	: 17,5 meter
Lebar kapal (B)	: 3,8 meter
Tinggi kapal (H)	: 1,7 meter
Syarat (T)	: 1,1 meter

Adapun kebutuhan volume metrik kapal yang dibutuhkan untuk membangun lambung kapal diatas akan dihitung menggunakan regulasi BKI 2013 vol VII. Kemudian pada tabel dibawah dapat dilihat nilai kebutuhan volumetrik material :

Tabel 9. Kebutuhan volume metrik kapal

Komponen Kapal	Total Volume (m ³)
Lunas	0,898
Linggi haluan	0,291
Linggi buritan	0,291
Gading	1,652
Wrang	2,658
Galar kim	0,182
Galar balok	0,402
Kulit	4,626
Geladak	2,358
Balok geladak	1,086
Sekat	0,469
Total	14,913

Tabel dibawah ini menunjukkan total biaya yang dibutuhkan dengan mengalikan harga material dengan kebutuhan volumetrik kapal. Nilai tersebut merupakan representasi biaya material yang dibutuhkan untuk proses manufaktur lambung kapal. Kemudian dilakukan perhitungan biaya produksi yang upah tukang dan serabutan dalam kurun waktu pembangunan kapal. Biaya overhead sendiri juga perlu untuk diperhitungkan yang merupakan biaya yang mencakup hal-hal kondisional yang akan berpengaruh penting pada proses manufaktur kapal sehingga diperlukan. Ketiga jenis biaya diatas merupakan asumsi biaya yang dibutuhkan pada proses manufaktur kapal mencakup biaya material, biaya produksi dan biaya overhead. Tabulasi biaya tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 10. Total biaya manufaktur lambung

Material	Biaya Material	Biaya Produksi	Biaya Overhead	Total
Jati	Rp372.825.00	Rp64.800.00	Rp16.512.00	Rp454.137.00
Bambu	Rp134.027.60	Rp64.800.00	Rp16.512.00	Rp215.339.60
Petung	20	00	00	20
Surian	Rp29.826.00	Rp64.800.00	Rp16.512.00	Rp111.138.00
Damar	Rp141.673.50	Rp64.800.00	Rp16.512.00	Rp222.985.50
Laut	00	00	00	00
Laminasi Surian	Rp86.381.77	Rp64.800.00	Rp16.512.00	Rp167.693.77
Petung	8	00	00	78

Total harga manufaktur kapal tertinggi berada pada jenis material kayu Jati dengan total biaya Rp454.137.000 dengan biaya manufaktur kapal terendah berada pada jenis material kayu surian dengan total biaya Rp111.138.000. Sementara untuk laminasi surian dan bambu petung total yang dibutuhkan adalah Rp167.693.778 atau lebih murah 33,55% dibandingkan kayu jati.

3.8 Perbandingan Dengan Standar BKI

Hasil pengujian spesimen dibandingkan dengan standar BKI bertujuan untuk mengetahui bagian konstruksi kapal mana yang bisa menggunakan balok laminasi. Berdasarkan standar yang sudah ditetapkan Biro Klasifikasi Indonesia

(BKI) dalam dalam Peraturan Kapal Kayu (Bag.3, Vol.VI) edisi 2023.[21] Ditetapkan bahwa kadar air untuk konstruksi kapal maksimal sebesar 15% sehingga spesimen pada penelitian ini telah memenuhi standar karna kadar airnya berada diantara 8-9,3%.

Sementara untuk kayu lapis atau laminat, harus mempunyai kuat tarik minimum sebesar 430 kg/cm² atau 46,16 MPa pada arah memanjang. Dan kayu lapis dapat digunakan untuk sekat dan bagian konstruksi lainnya. Spesimen pada penelitian ini sudah memenuhi standar BKI karena memiliki kekuatan tarik 158,96-215,42 MPa dimana jauh berada diatas standar yang sudah ditetapkan.

Tabel 11. Kelas kuat kayu

Kelas Kuat	Berat Jenis Kering Udara [gr/cm ³]	Kukuh lentur mutlak (MOR) [MPa]	Kukuh tekanan mutlak (Fc) [kg/cm ²]
I	$\rho \geq 0,90$	MOR ≥ 108	Fc ≥ 650
II	$0,60 \leq \rho < 0,90$	$72 \leq \text{MOR} \geq 108$	$425 \leq \text{Fc} \geq 650$
III	$0,60 > \rho \geq 0,40$	$50 \leq \text{MOR} \geq 72$	$300 \leq \text{Fc} \geq 425$
IV	$0,40 > \rho > 0,30$	$36 \leq \text{MOR} \geq 50$	$215 \leq \text{Fc} \geq 300$
V	$\rho \leq 0,30$	MOR ≤ 36	Fc ≤ 215

Dari tabel kelas kayu diatas, maka spesimen dengan variasi K0B100, K10B90, K20B80 dan K30B70 tergolong kedalam kelas kuat I. Sementara untuk spesimen dengan variasi K40B60 tergolong kedalam kelas kuat II. Sementara untuk kayu surian sendiri tergolong kedalam kelas kuat III. dari hasil pengujian berat jenis, spesimen uji tarik dan tekuk tergolong pada kayu kelas II karena nilai berat jenisnya berada diantara 0,6-0,9. Hal ini sudah memenuhi syarat mutu yang ditetapkan BKI dimana kayu yang digunakan dalam konstruksi penting minimum harus memiliki kelas kuat III dengan cacat minimal.

Berdasarkan peraturan BKI Untuk Kapal Kayu (Bag.3, Vol.VI) edisi 2023 pada bagian umum, kostruksi lunas, linggi haluan dan linggi buritan, wrang, gading-gading, balok buritan, dan tutup sisi geladak, kayu yang digunakan harus memiliki berat jenis minimum 700 kg/m³ atau 0.7 gr/cm³ atau kukuh lentur mutlak (MOR) minimum 856 kg/cm² atau 83 MPa. Sehingga semua variasi spesimen yaitu K0B100, K10B90, K20B80, K30B70, K40B60 yang memiliki nilai berat jenis 0,7-0,79 gr/cm³ dan kukuh lentur mutlak (MOR) berada diantara 206,13-244,58 MPa dapat digunakan pada bagian konstruksi tersebut.

Sementara untuk konstruksi bagian kulit Iuar, balok geladak, galar balok, lutut balok, penumpu geladak, dudukan mesin, kayu mati, dan lain-lain, BKI menetapkan standar kayu dengan berat jenis minimum 560 kg/m³ atau 0,56 gr/cm³ atau kukuh lentur mutlak (MOR) minimum 685 kg /cm² atau 67,17 MPa. Sehingga semua variasi spesimen yaitu

K0B100, K10B90, K20B80, K30B70, K40B60 yang memiliki nilai berat jenis 0,7-0,79 gr/cm³ dan kukuh lentur mutlak (MOR) berada diantara 206,13-244,58 MPa dapat digunakan pada bagian konstruksi tersebut.

Untuk kontruksi bagian geladak dan galar bilga, BKI menetapkan standar kayu dengan berat jenis minimum 450 kg/m³ atau 0,45 gr/cm³ atau kukuh lentur mutlak (MOR) minimum 550 kg/cm² atau 53,93 MPa. Sehingga semua variasi spesimen yaitu K0B100, K10B90, K20B80, K30B70, K40B60 yang memiliki nilai berat jenis 0,7-0,79 gr/cm³ dan kukuh lentur mutlak (MOR) berada diantara 206,13-244,58 MPa dapat digunakan pada bagian konstruksi tersebut.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian tarik dan tekuk dapat diambil kesimpulan bahwa dengan menambahkan bambu petung pada kayu surian pada sebuah balok laminasi, dapat meningkatkan kekuatan mekanis dari kayu surian. Kekuatan mekanis laminasi juga akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah fraksi volume bambu. Laminasi kayu surian memiliki kekuatan tarik 158,96 – 215,42 MPa dan kekuatan tekuk 206,13 – 244,58 MPa dimana variasi bambu 100% kayu 0% (K0B100) memiliki kuat tarik dan tekuk tertinggi. Terjadi peningkatan kekuatan tarik sebesar 100,20 % dan kekuatan tekuk sebesar 122,12% jika dibandingkan dengan kekuatan tarik dan tekuk kayu surian.

Rasio perubahan biaya terhadap perubahan kuat tarik dan tekuk paling optimal berada pada variasi fraksi volume 40% kayu dan 60% bambu (K40B60) dengan biaya produksi kapal sebesar Rp167.693.778 meningkat sebesar 33,72% dari material RAW Surian dengan biaya produksi kapal sebesar Rp111.138.00, tetapi jauh lebih murah jika dibandingkan dengan biaya produksi menggunakan kayu jati.

Dari hasil pengujian tarik dan tekuk dapat diambil kesimpulan bahwa dengan menambahkan bambu petung pada kayu surian pada sebuah balok laminasi, dapat meningkatkan kekuatan Teknis dari kayu surian. Balok laminasi kayu surian dan bambu petung digolongkan kedalam kelas kuat I. Balok laminasi kayu surian dan bambu petung dapat digunakan hampir disemua konstruksi kapal, seperti kostruksi lunas, linggi haluan dan linggi buritan, wrang, gading-gading, balok buritan, dan tutup sisi geladak, bagian kulit luar, balok geladak, galar balok, lutut balok, penumpu geladak, dudukan mesin, kayu mati, bagian geladak dan galar bilga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Firmansyah, P. Studi, T. Perkapalan, U. Hang, and T. Surabaya, "Laminasi Kayu Mahoni Dan Kayu Jati Sebagai Bahan Alternatif," vol. 4, no. 2, pp. 96–101, 2023.
- [2] F. W. Indonesia, *Potret Keadaan Hutan Indonesia*. Bogor: Forest Watch Indonesia, 2014.
- [3] S. S. A. Ansar, A. Rahmawati, and R. D. Arrahman, "Peninjauan Bencana Alam akibat Deforestasi Hutan dan Tantangan Penegakkan Hukum mengenai Kebijakan Penebangan Hutan Berskala Besar di Indonesia," *Indones. J. Law Justice*, vol. 1, no. 4, p. 11, 2024, doi: 10.47134/ijlj.v1i4.2740.
- [4] A. Nurhidayat, W. Wijoyo, and D. Irnawan, "Kajian Fraksi Volume Serat Komposit Tangkai Ilalang Terhadap Sifat Mekanik," *J. Teknosains Kodepena*, vol. 2, no. 2 SE-Articles, pp. 20–26, 2022, [Online]. Available: <https://www.jtk.kodepena.org/index.php/jtk/article/view/43>
- [5] G. Chen, Y. Yu, X. Li, and B. He, "Mechanical behavior of laminated bamboo lumber for structural application: an experimental investigation," *Eur. J. Wood Wood Prod.*, vol. 78, no. 1, pp. 53–63, 2020, doi: 10.1007/s00107-019-01486-9.
- [6] A. D. Laksono and D. T. Agustiningtyas, "Pengaruh Faktor Geografi Terhadap Karakteristik Bambu Petung," *SPECTA J. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 25–32, 2019, doi: 10.35718/specta.v3i1.115.
- [7] A. Santoni, *Potensi Tumbuhan Surian : Penghasil Senyawa Metabolit Sekunder dan Manfaatnya*, no. 0. Yogyakarta: Deepublish, 2022.
- [8] T. Tuswan *et al.*, "Correlation between lamina directions and the mechanical characteristics of laminated bamboo composite for ship structure," *Curved Layer. Struct.*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1515/cls-2022-0186.
- [9] Z. Zhang and Z. Qiu, "Experimental study on bending properties of bamboo-wood composite beams with different tectonic patterns," *Polym. Test.*, vol. 118, no. December 2022, p. 107907, 2023, doi: 10.1016/j.polymertesting.2022.107907.
- [10] G. Rindo, P. Manik, S. Jokosisworo, C. Putri, and P. Wilhelmina, "Effect analysis of the direction of fiber arrangement on interfaces of laminated bamboo fiber as a

- construction material for wood vessel hulls,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2262, 2020, doi: 10.1063/5.0016147.
- [11] A. Purnomo, “Analisis kekuatan kapal bambu laminasi dan pengaruhnya terhadap ukuran konstruksi dan biaya produksi,” *J. Tek. Pomits*, vol. 2, pp. 1–5, 2014.
- [12] Buan Anshari, “Pengaruh Variasi Tekanan Kempa Terhadap Kuat Lentur Kayu Laminasi Dari Kayu Meranti Dan Keruing,” *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 8, no. 1, pp. 25–33, 2006, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/civ/article/view/16377>
- [13] K. Abdurohman and A. Marta, “Kajian Eksperimental Tensile Properties Komposit Poliester Berpenguat Serat Karbon Searah Hasil Manufaktur Vacuum Infusion Sebagai Material Struktur Lsu,” *J. Teknol. Dirgant.*, vol. 14, no. 1, p. 61, 2018, doi: 10.30536/j.jtd.2016.v14.a2948.
- [14] B. T. Sofyan, *Pengantar Material Teknik*, Edisi 2. Bogor: UNHAN RI PRESS, 2021.
- [15] A. Martawijaya, I. Kartasujana, K. Kadir, and S. Prawira, Eds., *Atlas Kayu Indonesia*, Jilid II. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, 2005.
- [16] G. B. Eratodi, I. Irawati, A. Masdar, A. Lestari, A. Ade, and Y. Marisa, Eds., *REKAYASA BAMBU SEBAGAI SOLUSI PELESTARIAN LINGKUNGAN*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil & Lingkungan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 2012.
- [17] I. G. L. B. Eratodi, *Struktur dan Rekayasa Bambu*, Edisi Pert., vol. 1, no. 1. Denpasar: Universitas Pendidikan Nasional, 2017.
- [18] K. Imanda Harahap, “Pengaruh Suhu Penyimpanan Terhadap Kedalaman Pengeran dan Kekuatan Resin Komposit,” *Intisari Sains Medis*, vol. 9, no. 2503–3638, pp. 30–34, 2018, doi: 10.1556/ism.v9i3.275.
- [19] Metode Pengujian Kuat Tarik Kayu di Laboratorium, “Sni 03-3399,” in *Badan Standardisasi Nasional*, 1994, pp. 1–16.
- [20] SNI 03-3959, “Metode Pengujian Kuat Lentur Kayu di Laboratorium,” in *Badan Standar Nasional Indonesia*, 1995, pp. 1–9.
- [21] Biro Klasifikasi Indonesia, “Peraturan Kapal Kayu,” 2023, vol. VI, pp. 2–3. [Online]. Available: www.bki.co.id